RIVISTA SCIENTIFICA
E INDUSTRIALE

Anno XXIX. 15 Febbraio 1897. N. 2.

53753 M. H. POINCARÉ. — I raggi catodici e i raggi Röntgen (*).

I. Preliminari.

La inattesa scoperta del prof. Röntgen, le applicazioni di essa o realizzate o previste, han destato pari curiosità sì tra gli scienziati che tra il pubblico; ma quando da quest'ultimo si domanda ai fisici la vera natura di questa nuova luce, essi debbono confessare la loro ignoranza: perchè, nonostante l'ardore della ricerca spiegato in tutti i laboratori, nonostante le osservazioni accumulate in pochi mesi, non si è fatto in realtà un passo avanti, dal primo giorno. E invero, per strappare ai misteriosi raggi il loro segreto, converrebbe poter agire sopra di essi e modificarli; laddove, nel modo stesso che l'argon resiste ai tentativi dei chimici, i raggi X sono ribelli a tutti gli sforzi dei fisici, e proseguono il loro cammino rettilineo senza lasciarsi deviare da nessuno dei mezzi di cui disponiamo.

Rassegnamoci dunque ad ignorare le cause; e del resto non siamo punto obbligati a costruire una teoria, conoscendo bene che le migliori son pure effimere. Ma anche sulle stesse particolarità dei fatti gli osservatori non son ben d'accordo, e certe divergenze sono veramente difficili a spiegarsi. Contut-

---

(*) Dall'*Annuaire pour l'an 1897 publié par le Bureau des Longitudes.* Paris, Gauthier-Villars.

H. Poincaré, non solo ha cortesemente consentito che questo suo scritto fosse tradotto e pubblicato nella nostra *Rivista*, ma, altresì, ci ha favorito la *Nota addizionale* che pubblichiamo come appendice e che è quindi originale e inedita.

Digitized by Google

tociò l'importanza del soggetto merita che si riassuma lo stato presente della quistione; pur con la possibilità che una nuova scoperta possa da un momento all' altro cambiar faccia alle cose. E, prima di entrare in discorso, io voglio ricordare alcuni fatti, notissimi del resto, che pur avrebbero potuto, non far prevedere i nuovi fenomeni or ora scoperti, ma diminuirne un poco il carattere paradossale.

Diverse specie di radiazioni. — Le radiazioni luminose conosciute fin oggi e studiate, le quali, si sa bene, son dovute a vibrazioni trasversali dell'etere, si possono disporre lungo una specie di scala secondo le decrescenti lunghezze d'onda, ovvero i crescenti numeri delle vibrazioni.

In fondo a questa scala stanno le *oscillazioni hertziane*, la cui analogia con le onde luminose è ormai bene stabilita, e che si son potute ottenere con lunghezze d'onde comprese fra 6 metri e 2 centimentri. Vengono dopo, i raggi invisibili infrarossi o calorifici: poi i raggi visibili, rossi, gialli, verdi, blu, violetti; infine i raggi invisibili ultravioletti, che ci si rivelano per la loro azione fotografica. Non ci deve far meraviglia che a questa scala si aggiunga qualche nuovo gradino.

Ed oltre a questo, niente ci prova che l'etere non sia capace di vibrazioni longitudinali, analoghe alle onde sonore nell'aria. Le equazioni di Maxwell, incompatibili con tali oscillazioni, si invocherebbero male a proposito; perchè in tali equazioni si è posto ciò che si è voluto; e non essendosi mai osservate oscillazioni longitudinali, si è voluto esprimere che non ve ne sono. Ma quando l'esperienza ci provasse il contrario, basterebbe cambiar tutto con un tratto di penna.

Si è creduto per un pezzo che la propagazione dell'induzione elettro-magnetica fosse istantanea; forse si proverà un giorno che anche l'induzione elettrostatica si propaga con velocità finita, il che porterebbe di conseguenza l'esistenza di ondulazioni longitudinali. Lord Kelvin per risolvere il problema ha proposto delle esperienze ingegnose le quali non sono state ancora fatte.

Trasparenza. — È un fenomeno ovvio che uno stesso corpo non è egualmente trasparente per tutte le radiazioni. Un vetro rosso lascia passare soltanto i raggi rossi, e trattiene i

Digitized by Google

raggi verdi, e appunto per ciò è rosso; il contrario avviene in un vetro verde.

Ma il medesimo vetro perfettamente incoloro quindi traversato da tutti i raggi visibili, può essere talora opaco per i raggi calorifici o infra-rossi, e per quelli ultra-violetti.

Invece, l'argento che è opaco pei raggi visibili, è abbastanza trasparente per certi raggi ultravioletti, cosicchè si son potuti fotografare degli oggetti chiusi in una scatola di vetro argentato, e celati quindi completamente alla vista. E questa è già la *fotografia dell'invisibile.* Se dunque si scoprono dei nuovi raggi, potremo aspettarci che essi traversino certi corpi, i quali noi siamo abituati a considerare come opachi.

Fluorescenza. — Debbo ricordare parimente certi fenomeni pur conosciuti da lungo tempo, ma ai quali le scoperte recenti danno una inaspettata importanza. Intendo del fenomeno della *fosforescenza* o *fluorescenza;* pel quale certe sostanze, dopochè furono esposte alla luce, emettono delle radiazioni, che da se stesse non avrebbero potuto emettere senza ricevere energia dall' esterno. Così il solfuro di zinco, di calcio, e i sali d'uranio.

Un tal fenomeno potrebbe confondersi con una specie di irregolare riflessione della luce eccitatrice, se non fossero le due seguenti circostanze; prima, che lo splendore fosforescente, rimane una frazione di secondo, dopo l'estinzione della luce eccitatrice; e inoltre, che esso non è generalmente del medesimo colore. E si vedrà più avanti la parte che ha la fluorescenza nei nuovi fenomeni dei quali ora vengo a parlare.

II. — I Raggi Catodici.

Immaginiamo di avere un tubo di vetro, contenente aria rarefatta, dentro al quale penetrino due fili metallici terminati ciascuno con un dischetto e funzionanti da elettrodi. Se i due fili vengano posti in comunicazione coi due poli di un rocchetto di Ruhmkorff, si osserveranno fenomeni molto differenti secondo la pressione dell'aria contenuta nel tubo.

Alla pressione ordinaria la corrente non passa, per essere

Digitized by Google

l'aria cattivo conduttore. Se il vuoto è portato fino ad $^1/_{1000}$ di atmorfera, si ha il *tubo di Geissler:* la corrente passa; l'intervallo fra i due elettrodi è occupato da una colonna luminosa di un rosso violaceo, talora stratificata; l'elettrodo negativo o *catodo* è circondato da un piccolo spazio oscuro. Se il vuoto è più perfetto, la colonna luminosa diminuisce di lunghezza e lo spazio oscuro si accresce. Quando la pressione sia bastantemente piccola, per esempio $^1/_{100000}$ o $^1/_{1000000}$, lo spazio oscuro occupa quasi tutto il tubo, e si ha il cosiddetto *tubo di Crookes*, le pareti del quale si illuminano di un bel chiarore verdastro. Se poi il vuoto è fatto anche di più, la corrente non passa più, e tutti i fenomeni spariscono. Si posson dunque distinguere tre gradi di vuoto; il vuoto di Gessler, quello di Crookes e il vuoto isolante.

Che cosa è che nel tubo di Crookes produce la fluorescenza? Non certo la corrente elettrica di per se, la quale va da un elettrodo all'altro senza toccare le pareti; ed è manifesto che questo agente eccitatore della fluorescenza si propaga in linea retta dal catodo al vetro, perchè se sul suo cammino si interpone un corpo solido, questo lo arresta, e un' ombra nera si proietta sulla parete, precisamente come se il catodo fosse un'ordinaria sorgente luminosa.

La propagazione di questo agente incognito non è dunque paragonabile a quella di una corrente fluida o elettrica, che girerebbe attorno agli ostacoli; e neppure a quella del calore nei corpi conducenti: tal propagazione é rettilinea come quella di un raggio luminoso, il che fece dare al fenomeno scoperto da Hittorf e Crookes il nome di *raggi catodici.*

Mediante le ombre prodotte, si può studiare il cammino di questi raggi; talvolta sul loro passaggio anche l'aria si illumina debolmente permettendo di seguire direttamente il loro cammino. Si vede così, che questi raggi emanano dal catodo *perpendicolarmente alla sua superficie*, e non dipendono quindi se non dalla forma e dalla posizione di esso: la posizione dell'*anodo* o elettrodo positivo non pare che abbia influenza alcuna su di essi. Essi accompagnano la scarica elettrica e non posson prodursi senza di essa, pur essendo ben distinti da tale scarica, la quale segue tutt'altro cammino, generalmente una curva fra il catodo e l'anodo.

Digitized by Google

Deviazione magnetica. — I fenomeni si cambiano quando il tubo sia sottoposto all'azione di un magnete; allora i raggi catodici sono deviati come una corrente elettrica, e cessano di essere rettilinei per curvarsi più o meno.

Inoltre, secondo le osservazioni di Goldstein, se nello stesso tubo vi sono, due catodi e i raggi dell'uno passano presso all'altro, vengono deviati come se fossero respinti da questo catodo. Ed altre cause, difficili talora a determinarsi, sopraggiungono spesso a disturbare le leggi semplici or ora enunciate, le quali debbono esser considerate solamente come approssimate.

Fluorescenza — Il vetro, lo abbiam visto, diventa fluorescente nel punto dove è colpito dai raggi catodici; l'aria stessa sul loro passaggio si illumina, e bisogna non confondere questo chiarore visibile sul cammino dei raggi coi raggi medesimi: fenomeni questi analoghi perfettamente alla fluorescenza di talune sostanze esposte alla luce. Dunque, e questo è importante per ciò che vedremo, *i raggi catodici possiedono come i raggi luminosi la proprietà di produrre la fluorescenza;* e si potrebbe aggiungere, che *la possiedono in molto maggior grado.*

Molte sostanze che non sarebbero eccitate dalla luce ordinaria brillano sotto la loro azione: di altre lo splendore è più vivace e dura più a lungo. Così, un semplice pezzetto di creta in un tubo di Crookes, emette una intensa luce; e con certe pietre preziose e terre rare, lo spettacolo diventa veramente splendido. E del resto, solamente per tale loro proprietà i raggi catodici si sono rivelati a noi.

Raggi Lenard. — Il problema entrò in una nuova fase allorchè Hertz scoperse che i raggi catodici possono attraversare una foglia di alluminio sottilissima, ma pure abbastanza grossa per trattenere la luce ordinaria. Lenard ebbe allora l'idea di fare una piccolo finestra nelle pareti del tubo e chiuderla con una tal foglia di alluminio. Senza entrare qui nei particolari, circa la maniera di assicurare l'alluminio al vetro insieme con l'armatura metallica necessaria per mantenere il vuoto nel tubo e sostenere la pressione esterna, è manifesto che con tale artificio i raggi catodici prodotti nell'interno del tubo di Crookes passano traverso la finestra di alluminio ed *escono dal tubo;* cosicchè si potrà studiare la loro propagazione in altri mezzi, per esempio, nell'aria alla pressione or

Digitized by Google

dinaria, o nel vuoto maggiore di quello di Crookes cioè nel *vuoto isolante*. In tali mezzi che sono isolanti e si oppongono alla scarica elettrica, tali raggi non potrebbero naturalmente prodursi, ma possono però propagarvisi.

Nel vuoto la loro propagazione è rettilinea, spesso per grandi lunghezze, e sono deviati dalla calamita. Nell'aria alla pressione ordinaria, essi si diffondono in tutti i versi, nel modo stesso che la luce in un mezzo traslucido, come per esempio il latte. Quindi a pochi centimetri dalla finestra di Lenard non si distinguono più, e questo non ha permesso di studiare l'azione della calamita sopra di essi.

Eterogeneità dei raggi catodici. — Nel modo medesimo che vi hanno raggi luminosi di varii colori, vi sono più specie di raggi catodici, diversamente deviati dalla calamita. I lavori di Lenard e sopratutto una recente esperienza di Birkeland non lasciano più alcun dubbio su questo punto.

Teorie dei raggi catodici. — Sulla spiegazione di tali fenomeni si è ancora assai discordi. In Inghilterra si è adottata una teoria che ricorda quella dell'*emissione* in ottica. Il tubo, si dice, è pieno di aria rarefatta: le molecole a contatto del catodo si caricano negativamente e ne vengono respinte violentemente, tanto da acquistare una notevole velocità e percorrere un buon tratto in linea retta, senza che il mezzo molto rarefatto opponga loro ostacolo. Queste molecole elettrizzate bersagliano la parete opposta del tubo e vi destano la fluorescenza. Questa corrente materiale è al tempo stesso una corrente elettrica, perchè tutte le molecole sono elettrizzate e trasportano con sè dell'elettricità: quindi, come ogni corrente elettrica, sarà deviata dalla calamita. La deviazione magnetica si spiega facilmente; meno bene si spiega la piccolezza della deviazione elettrostatica.

I Tedeschi, invece, preferiscono vedere nei raggi catodici un fenomeno ondulatorio per alcuni, essi sarebbero della luce ultra-ultravioletta, cioè di brevissima lunghezza d'onda; sebbene per la deviazione magnetica e la piccola velocità di propagazione (200 km. al secondo, secondo J. Thomson) sembrerebbero ben distinti dalla luce ordinaria. Altri cercano l'intervento di vibrazioni longitudinali dell'etere o di altro mezzo ignoto.

Digitized by Google

La teoria inglese per un pezzo in onore, era stata abbandonata dopo le esperienze di Lenard: perchè non si poteva ammettere che le molecole gassose traversassero l'alluminio; e, che i raggi catodici si propagassero in un vuoto quasi assoluto pareva una obbiezione inconfutabile. Pur tuttavia questa teoria ha in seguito riguadagnato terreno, in grazia di una serie di nuove esperienze in contradizione con quelle di Hertz, e dalle quali Perria ha concluso che i raggi catodici sono sempre accompagnati da un trasporto di elettricità negativa.

III. — Raggi Röntgen.

Il prof. Röntgen, avendo chiuso un tubo di Crookes in una scatola di cartone nero, e lavorando all'oscuro, osservò che uno schermo fluorescente di platino-cianuro di bario si illuminava quando il tubo entrava in azione. Questa fluorescenza non poteva venire eccitata dalla luce verde delle pareti del tubo, la quale infatti non poteva traversare la scatola di cartone; e l'illustre fisico ne concluse l'esistenza di un nuovo agente capace di traversare il cartone e di eccitare la fluorescenza di certi corpi. Egli aveva scoperto i raggi X: li aveva scoperti per uno di quei casi fortunati che forse capitano a noi tutti di quando in quando e a nostra insaputa, ma dei quali solo gli ingegni più illuminati sanno approfittare.

Röntgen verificò ben presto che questi nuovi raggi traversano tutti i corpi, molto meglio della luce ordinaria. Tutte le sostanze son trasparenti per essi, ma in grado differente: il legno, il diamante, la maggior parte delle sostanze organiche sono trasparentissime; la carne è più trasparente delle ossa, e su tale differenza son fondate importanti applicazioni delle quali diremo più avanti: il vetro di Boemia è molto più trasparente del cristallo; finalmente fra i metalli, è assai trasparente l'alluminio, mentre il piombo e il platino sono quasi opachi.

I corpi relativamente opachi posti sul tragitto dei raggi X proiettano sullo schermo fluorescente delle ombre che permettono di seguire il loro cammino, nel modo stesso che abbiamo visto sopra, per i raggi catodici. E si osserva, allora, che questo cammino è rettilineo come quello dei raggi luminosi, il

Digitized by Google

che giustifica il nome di raggi dato al nuovo fenomeno.

Azione fotografica. — I raggi Röntgen impressionano una lastra fotografica, coperta da una carta nera; ecco l' origine delle più importanti applicazioni di queste radiazioni e in pari tempo il mezzo più comodo per studiarle.

Ma ecco un primo problema. I raggi X agiscono direttamente sulla lastra fotografica? oppure, poichè essi son capaci di eccitare la fluorescenza, è la luce fluorescente da essi prodotta nel vetro o nella gelatina, che da origine all'azione chimica? Non si può rispondere con sicurezza, ma la prima ipotesi pare, la più probabile.

Il problema si complica poi per ciò che concerne i raggi catodici, i quali, come ha mostrato Lenard, hanno eguale azione sopra la gelatina fotografica. I raggi catodici non solo eccitano la fluorescenza, ma danno origine ai raggi X, che alla loro volta possono generare la fluorescenza. Quindi possiamo domandarci; se sono gli stessi raggi catodici che agiscono sulle lastre fotografiche, oppure, i raggi X o i raggi luminosi che ai primi si accompagnano.

Emissione dei raggi X — Tutti conoscono la camera oscura; cioè, una cassetta opaca con un piccolo foro praticato nella parete anteriore, per cui tutti gli oggetti esterni luminosi o illuminati vengono a proiettare la loro immagine nel fondo opposto. Se si opera così per i raggi X con una cassetta di sostanza opaca per tali raggi, ponendo nel fondo una lastra fotografica involtata in carta nera, i punti esterni che emettono radiazioni Röntgen, verranno a formare la loro immagine sulla lastra, ed avremo così l'immagine della sorgente; sapremo quindi *di dove i raggi X si partono.*

Si trova in tal modo, che i raggi X emanano dalla regione del tubo colpita dai raggi catodici, quella stessa che brilla per fluorescenza di luce verdastra. Sotto l'urto dei raggi catodici essa emette insieme raggi luminosi verdi e raggi Röntgen invisibili; e i due fenomeni sono del medesimo ordine.

L' emissione dei raggi X è una vera fluorescenza; e se i raggi catodici li producono così facilmente, ciò dipende appunto dall'avere essi un eccezionale potere eccitatore. Tuttavia è necessario distinguere: *tutti i corpi solidi colpiti dai raggi catodici emettono dei raggi X,* mentre non tutti diven-

Digitized by Google

gono fluorescenti; così il platino, ad esempio, non produce affatto luce visibile, ma emette facilmente dei raggi Röntgen.

Riflessione. — I raggi luminosi possono deviare dal loro cammino per la riflessione e la rifrazione; i raggi catodici possono esser deviati dalla calamita: i raggi Röntgen, invece, non si è potuto farli deviare dal loro cammino rettilineo.

I raggi X non si riflettono. Si son viste è vero tracce di riflessione, ma non si tratta di riflessione regolare con l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione. Una superficie colpita dai raggi X li rimanda egualmente in tutte le direzioni in piccolissima quantità.

Veramente io non credo che avvenga proprio così. Questa riflessione irregolare non si produce soltanto alla superficie di separazione dei due mezzi; le molecole interne di un corpo trasparente rimandano egualmente dei raggi riflessi in tutti i versi, e la prova sta nel fatto che il vetro pestato non è più opaco del vetro omogeneo. Non si tratta dunque di una vera riflessione, ma di una specie di fluorescenza.

I raggi X non si rifrangono. Perrin ha creduto di osservare con un prisma d'alluminio una debolissima deviazione (con indice minore di 1), ma questa osservazione è contraddetta da Gouy, e bisogna aspettare nuove esperienze.

Infine i raggi X non sono deviati dalla calamita; il che prova che *essi non sono raggi catodici*, ma che ne differiscono tanto, quanto la luce verde suscitata dai raggi catodici sopra il vetro.

Diffrazione. — Le ombre della luce ordinaria non presentano contorni netti, ma su di essi si posson vedere delle linee alternativamente brillanti e oscure, cioè le *frangie di diffrazione*. Si vedono facilmente esaminando l'ombra proiettata da un filo finissimo oppure facendo passare la luce traverso ad una strettissima fessura. Tali frangie son tanto più fini e quindi difficili a osservare quanto più breve è la lunghezza d'onda luminosa, quanto più larghi sono il filo e la fessura.

Invano si son cercati tali fenomeni nei raggi X; sia perchè essi non abbiano carattere vibratorio, sia perchè la loro lunghezza d'onda sia troppo piccola. Kümmell in Germania e Calmette in Francia hanno ottenuto apparenze di diffrazione dalle quali han dedotto lunghezze d'onda di mm. 0,003; molto

Digitized by Google

più grandi, quindi, di quelle della luce. Ma avendo essi adoperato fessure molto più larghe, che gli osservatori i quali non han nulla veduto, si può domandare se non si debba ricercare un altra causa ai loro resultati.

Polarizzazione. — Neppure si è potuto polarizzare i raggi X, i quali, poichè non si riflettono ne si rifrangono, non potevano essere studiati se non mediante un solo mezzo: quello della tormalina.

Si sa che un raggio di luce ordinaria può esser considerato come la sovrapposizione di due raggi polarizzati ad angolo retto. Quindi una tormalina posta in una certa maniera tratterrà la prima componente e lascerà passare la seconda; avverrà il contrario se la tormalina verrà girata di 90 gradi. Due tormaline incrociate arresteranno tutte e due le componenti e appariranno opache; poste parallelamente non ne arresteranno che una sola e sembreranno trasparenti.

L'esperienza non riesce coi raggi Röntgen, sia perchè essi non possono polarizzarsi, sia perchè la tormalina non agisce su di essi come sulla luce; il che non deve parere straordinario, perchè essi sembrano differire assolutamente dai raggi luminosi per ciò che concerne la trasparenza. Solo il principe Galitzine ha creduto di osservare delle leggiere differenze; ma occorrono anche per risolvere questa quistione delle nuove esperienze.

Azione elettrica. — L'azione elettrica dei raggi X è una delle più importanti loro proprietà, e quella che è anche meglio studiata. Ma essendo altresì quella che ha dato occasione alle maggiori controversie, sulle quali non posso qui trattenermi, debbo limitarmi a esporre i fatti che mi parvero più accertati.

Si sa che la luce ultravioletta facilita lo scoccare della scintilla elettrica. Similmente i conduttori elettrizzati si scaricano rapidamente quando sono esposti ai raggi Röntgen.

Si era supposto che sotto l'influenza delle radiazioni ultraviolette la superficie dell'elettrodo si disgregasse e che il pulviscolo degli strati superficiali diventasse il veicolo dell'elettricità. Tale spiegazione, o vera o no che essa sia, non vale certamente per i raggi X, perchè essi possono agire *senza incontrare la superficie del conduttore.*

Digitized by Google

Ci si può domandare, se alcune sostanze ordinariamente isolanti non divengano conduttrici quando sono traversate dai raggi Röntgen. Così agiscono i raggi luminosi sul selenio; e altrettanto fanno anche i raggi X.

Ma vi è qualche cosa di più. Non solo l'aria cessa di essere isolante nei punti dove è traversata dai raggi X, ma *lungo tutte le linee di forza elettrica* che sono incontrate dal fascio di questi raggi. Perrin è riuscito a scaricare un conduttore facendo passare un fascio di raggi Röntgen a 40 centimetri dalla sua superficie.

E l'aria modificata da tali radiazioni conserva per qualche tempo la nuova sua proprietà, continuando a scaricare i corpi elettrizzati, anche dopo che il tubo Crookes ha cessato di agire.

I raggi X non esercitano tale azione che sopra i gas; secondo la maggior parte delle esperienze fatte, essi non avrebbero alcuna azione sopra i dielettrici solidi e liquidi.

In sostanza avviene come se, sotto l'azione dei raggi Röntgen, ogni molecola gassosa si decomponesse in due atomi o ioni, caricati l'uno positivamente, l'altro negativamente; e, nel campo elettrico, l'uno attirato dal conduttore negativo, l'altro dal conduttore positivo, andassero, lungo le linee di forza a neutralizzare le cariche dei due conduttori.

Eterogeneità dei raggi X. — È probabile che vi siano raggi X di più specie: Noi siamo in presenza di un mondo sconosciuto del quale non immaginiamo la varietà; come avverrebbe di un uomo incapace a distinguere i vari colori, in faccia alla luce ordinaria. I mezzi di analisi della luce bianca, il prisma e il reticolo, non servono per i raggi Röntgen, ribelli alla rifrazione e alla diffrazione.

Ma se vi sono raggi X di diverse specie, alcune sostanze potranno essere trasparenti per le une e non per le altre. Questo è il solo mezzo per cui potremo distinguerli e separarli.

Su questo punto resta ancora quasi tutto da fare. Intanto però Porter ha constatato delle differenze ben nette. Per certi raggi la carne è trasparente, per altri quasi opaca come le ossa: i primi emanano dal tubo di Crookes alle temperature ordinarie, i secondi sopra 20° o 25°. Son da ricordarsi in proposito anche le osservazioni del Róiti e quelle precedenti di Benoit e Hurmuzescu.

Digitized by Google

IV. — Applicazioni dei raggi X.

Questa nuova radiazione traversa i corpi opachi; ecco la proprietà che ce la rendono preziosa, e l'origine delle più svariate applicazioni. Non manca altro che se ne serva il direttore del Laboratorio municipale per esaminare senza pericolo le macchine degli anarchici.

Ma le più importanti sono le applicazioni mediche, e si comprende facilmente quanto vantaggio possa ricavare il chirurgo, da un mezzo che gli permette di vedere lo scheletro quasi come se la carne non ci fosse, e gli fa trovare un proiettile penetrato nell'interno del corpo.

Tuttavia dopo i primi entusiasmi, molti medici si sono un po' scoraggiti, per il troppo lungo tempo della posa: venti minuti per una mano, tre quarti d'ora per un braccio. Pareva che non si dovesse mai arrivare a traversare tutto lo spessore del corpo; ma i nuovi e necessari progressi furono fatti.

Si è studiato di aumentare l'intensità per diminuire la durata della posa; e si è ottenuto, scegliendo convenientemente la forza del rocchetto e la temperatura. Si è cercato inoltre qual fosse la pressione più acconcia, la quale del resto dipende dalle dimensioni del tubo. Si è tentato di mettere sulla lastra fotografica uno schermo fluorescente che reso luminoso dai raggi X agisse direttamente sulla gelatina bromura accelerando l'azione fotografica.

Ma non basta l' intensità; occorre soprattutto la nettezza del disegno e qui si presenta subito una difficoltà. L'obiettivo fotografico concentra sopra ogni punto della lastra tutti i raggi luminosi provenienti dal punto corrispondente dell'oggetto, e si ha quindi sulla lastra una immagine reale di questo oggetto. Nulla di simile avviene coi raggi Röntgen, che non si riflettono, e coi quali non si ha una vera immagine, ma solamente delle *silhouettes*, delle ombre chinesi, che non si posson mettere in fuoco.

L' ottica geometrica ci insegna che ogni ombra è circondata da una penombra la quale è tanto più stretta e tanto più netti ha i contorni, quanto più piccola è la sorgente luminosa, quanto minore è la distanza fra la sorgente e l'og-

Digitized by Google

getto, e quanto maggiore quella fra l'oggetto e lo schermo. Or coi raggi Röntgen non è possibile accrescere molto la prima distanza nè diminuire a volontà la seconda, se si vuole traversare con essi uno spessore un po' considerevole. Non resta quindi che ristringere quanto è possibile le dimensioni della sorgente.

La sorgente dei raggi X è la regione del tubo colpita dai raggi catodici; bisogna dunque concentrare i raggi catodici sopra uno spazio della parete più piccolo che sia possibile. Per ottener questo si dà al catodo la forma di una calotta sferica, e allora i raggi catodici partendo in direzione perpendicolare a questa superficie vanno a convergere al centro della sfera, il quale corrisponde sulla parete di vetro. Si è potuto impiegare anche la calamita, che devia i raggi catodici; quindi, se il campo magnetico non è uniforme, taluni di questi raggi saranno deviati di più, e un fascio parallelo potrà diventar convergente.

Ma su questa via non si può procedere troppo oltre, perchè, sotto l'urto dei raggi catodici, il vetro si riscalda, perde la sua proprietà fluorescente, e finisce col rammollirsi e sfondarsi. Per rimediare a questo inconveniente si è posto il vetro in un vaso di celluloide riempito d'acqua, essendo l'acqua e il celluloide trasparentissimi pei raggi X.

Tubi focus. — Ma il vero mezzo di evitare questo inconveniente è quello di adoperare il così detto « tubo focus »; nel quale il catodo ha la forma di uno specchio sferico concavo, e l'anodo è una placca piana di platino posta al centro della superficie sferica dello specchio. Il platino emette allora raggi X, non perchè fa da anodo, ma perchè è sotto l'influenza dei raggi catodici. Certamente l'emissione è più intensa quando il platino fa da anodo, perchè il fascio catodico lo colpisce più violentemente. Col platino non son da temere gli effetti nuovi del riscaldamento.

Ma non si deve credere che i raggi catodici emananti dello specchio concavo vengano riflessi dall'anodo come da uno specchio piano. In tal caso essi sarebbero riflessi secondo una sola direzione, secondo le leggi della riflessione; mentre invece essi sono rimandati in tutti i versi. Un corpo incandescente emette luce in tutti i versi, ma più nella direzione nor-

Digitized by Google

male che in quelle oblique. Similmente, Gouy ha mostrato che l'anodo di platino emette raggi X in tutte le direzioni.

Se si considera dunque la lamina di platino sotto una incidenza molto obliqua, essa non emetterà che un fascio sottilissimo di raggi Röntgen, e, poichè la sua intensità totale rimane la medesima che sotto la incidenza normale; la sua « densità » sarà molto più grande. Con una lamina incandescente che emette della luce ordinaria succederebbe diversamente: il fascio sarebbe tanto più stretto quanto più obliqua l'incidenza; ma diminuirebbe la intensità totale rimanendo costante la densità. Nel modo sopra detto si può avere una sorgente di raggi X intensissima e strettissima.

Tal fatto scoperto da Gouy e apparentemente paradossale, ha la sua semplicissima spiegazione geometrica in questo: *che la trasparenza del platino pei raggi Röntgen eccitati*, sebbene leggerissima, *è molto più grande che per i raggi catodici eccitatori.*

Con tutti questi perfezionamenti si è potuto ridurre il tempo di posa a pochi minuti o anche ad alcuni secondi. Si son costruiti anche dei tubi « focus » di forma sferica e non in vetro ma in metallo e in parte di alluminio sottile. L'anodo piano è posto al centro e la intera sfera funziona da catodo. Con tali tubi si può, sembra, illuminare uno schermo fluorescente ad una distanza di dieci metri, attraverso lo spessore di un metro di legno.

Criptoscopio. — Si è utilizzata anche la visione diretta senza fotografia per mezzo di uno schermo fluorescente. L'apparecchio chiamato *criptoscopio* non è altro che la riproduzione della prima esperienza di Röntgen e di nuovo non v'è che il nome. Si è però cercato di porre altre sostanze in luogo del platino-cianuro di bario, e quella che da i migliori resultati pare sia il tungstato di calcio preparato in un certo modo.

V. — Teorie dei raggi X.

Teoria ultravioletta. — Tutte le teorie proposte fin qui non sono altro che ipotesi, nessuna delle quali è fondata sopra basi sicure.

Quelli che considerano i raggi Röntgen come luce ultra-

Digitized by Google

ultravioletta, dovrebbero essere imbarazzati, sembrerebbe, a spiegare la mancanza della rifrazione; perchè, i raggi violetti sono i più rifrangibili dello spettro, quelli ultravioletti lo sono ancora più; quindi, se la progressione continuasse i nuovi raggi dovrebbero soffrire una grandissima rifrazione.

Ma secondo certe teorie della dispersione, per esempio quella di Helmholtz, l'indice di rifrazione, dopo esser cresciuto col numero delle vibrazioni decresce rapidamente e termina col divenire vicinissimo all'unità. Non vi è dubbio che questa deduzione non sia una arditissima extrapolazione delle formule di Helmholtz; tuttavia può provare che l'ipotesi per lo meno non è assurda. Più oltre vedremo l'appoggio che alla teoria ultravioletta ha portato la scoperta dei raggi Becquerel.

Teoria longitudinale. — Si è supposto anche che i nuovi fenomeni fossero dovuti a vibrazioni longitudinali dell' etere. Tale teoria acquisterebbe una certa probabilità, se le esperienze di Kümmel sulla diffrazione fossero confermate. La lunghezza d'onda sarebbe la medesima che quella delle onde trasversali ultrarosse; quindi se i raggi Röntgen fossero trasversali, dovrebbero essere identici a queste onde e possedere le medesime proprietà. Siccome questo non è, si dovrebbe concluderne che essi sono longitudinali. Invece, se venissero confermati i resultati del principe Galitzine sopra la polarizzazione, dovremmo concludere per la trasversalità e adottare la teoria ultravioletta.

Teoria vorticosa. — Michelson attribuisce i raggi Röntgen a movimenti vorticosi dell'etere; per cui non avrebbero alcun carattere vibratorio o periodico.

Teoria dell'emissione. — Fin ora noi abbiamo sempre ammesso che i raggi Röntgen, sebbene prodotti dai raggi catodici, ne differiscano tanto quanto la luce verde che è pure un altro effetto: possiamo quindi cercare la spiegazione dei raggi Röntgen senza occuparci di ricongiungerla con quella degli altri fenomeni che accompagnano la scarica nel vuoto di Crookes.

Tuttavia vi sono opinioni differenti: parecchi inglesi, fra gli altri Lodge, sarebbero inclinati a credere che i raggi X non siano altro che raggi catodici modificati.

Digitized by Google

Secondo essi, nel vuoto di Crookes le molecole gassose elettrizzate camminerebbero con grande velocità, e potrebbero traversare il vetro ed escire dal tubo, rimanendo però spogliate della loro carica. Il raggio catodico, che è corrente di materia elettrizzata sarebbe deviato dalla calamita come una corrente elettrica; mentre non lo sarebbe il raggio X, semplice corrente di materia senza elettricità.

Effetto Lafay. — Se fosse così, sarebbe possibile rendere i raggi X sensibili all'azione magnetica, restituendo loro la carica. E l'esperienza di Lafay a prima vista sembrerebbe confermare questo modo di vedere.

Se si fa passare un fascio di raggi Röntgen traverso ad una lamina di alluminio sottilissima ed elettrizzata questo fascio diventa suscettivo di esser deviato da un campo magnetico. Ma in realtà avviene lo stesso, sia che il fascio incontri il campo magnetico dopo la lastrina elettrizzata, o prima di essa. Il fatto non è dunque la conferma della teoria dell'emissione, perchè la teoria non può spiegare come la calamita possa agire sopra molecole che stanno per essere elettrizzate ma che non lo sono ancora.

Bisogna ricorrere ad altra spiegazione. I raggi X, lo abbiamo visto, rendono l'aria conduttrice, e se essi incontrano un corpo elettrizzato si produrranno delle correnti elettriche sul loro passaggio; le quali quando siano deviate dalla calamita pare che trascinino con se anche i raggi stessi per un meccanismo che è ancora ignoto. Ma bisogna anche dire che l'esperienza di Lafay è contestata da Lodge.

I raggi Lenard e i raggi Röntgen. — In somma, per ora bisogna ammettere che i raggi Lenard sono raggi catodici esciti fuori del tubo, e che i raggi Röntgen sono tutt' altra cosa.

È certo che Lenard colla sua esperienza ha dovuto ottenere anche dei raggi Röntgen, che ha sua insaputa sono venuti a complicare i suoi resultati, senza che egli abbia potuto riconoscerne l' influenza. Tuttavia i fenomeni che egli descrive sono differentissimi da quelli ordinari di queste radiazioni e bisogna credere che si tratti d'altro.

I raggi X emanano dal vetro non solo lungo il prolungamento del raggio catodico eccitatore ma in tutte le direzioni.

Digitized by Google

I raggi Lenard si comportano egualmente nel traversare la finestra di alluminio, che, pare, li diffonda in tutti versi. Ma, tolto questo, vi è completa differenza. I raggi Lenard son deviabili dalla calamita, e i raggi Röntgen non lo sono punto, sia nel vuoto, sia alla pressione ordinaria. Quasi tutti i corpi assorbono e *soprattutto diffondono* i raggi Lenard; i quali però si arrestano nell'aria dopo pochi centimetri, mentre i raggi Röntgen si propagano nell'aria senza assorbimento sensibile e senza *diffusione.*

VI. — Altre nuove radiazioni.

I raggi Becquerel. — Il medesimo agente, il raggio catodico produce due differenti manifestazioni, la fluorescenza visibile e i raggi X. Si può dunque cercare, se fra l'uno e l'altro effetto vi è qualche relazione; se le circostanze che producono l'uno non favoriscono anche l'altro; se infine, i corpi più vivacemente fluorescenti emanano qualche cosa di analogo ai raggi Röntgen.

Dopo una prima esperienza di Ch. Henry sopra il solfuro di zinco, H. Becquerel studiò i sali d'uranio. Un cristallo di sale d'uranio, posto sopra una lastra fotografica coperta di carta nera, la impressiona anche a traverso certi corpi considerati generalmente come opachi.

Un tale cristallo che non dà fluorescenza visibile se non dopo essere stato esposto alla luce, e perde il suo splendore una piccola frazione di secondo dopo l'estinzione della luce eccitatrice, emette invece i nuovi raggi nell'oscurità e l'emissione continua per lunghe ore senza sensibile diminuzione. Non è neppure certo che la luce aumenti l'intensità del fenomeno.

Pare che questi corpi abbiano accumulato in se, dal tempo nel quale si son formati, una provvista d'energia che essi dispensano poi sotto forma di *raggi Becquerel;* provvista che la luce ed altri agenti fisici non possono rinnovare, ma che si esaurisce lentissimamente. Viceversa, l'energia dispensabile in forma di luce visibile si esaurisce rapidamente ma può essere rinnovata dagli agenti esterni.

Resultati non meno curiosi si ottennero col solfuro di cal-

Digitized by Google

cio e col solfuro di zinco. M. Troast, col solfuro di zinco preparato di fresco, ha ottenuto dei resultati eccellenti; ma in capo a qualche giorno il suo solfuro aveva perduto tutte le sue proprietà. Anche qui la provvista iniziale di energia si era esaurita, nè poteva più rinnovarsi.

I sali d'uranio la conservano molto di più, quasi indefinitamente. L'uranio metallico è attivissimo benchè non dia fluorescenza visibile.

Proprietà dei raggi Becquerel. — I raggi Becquerel si avvicinano ai Raggi Röntgen per certe proprietà: essi traversano corpi opachi alla luce ordinaria, hanno azione sulle lastre fotografiche, e scaricano i corpi elettrizzati.

Però, per certe altre proprietà se ne allontanano; essi si riflettono, e sono polarizzati dalla tormalina; proprietà quest'ultima che non può appartenere se non ad ondulazioni trasversali. Quindi i *raggi Becquerel sono raggi luminosi.*

Considerando quindi le loro analogie coi raggi Röntgen, si è inclinati a pensare che essi formino il passaggio tra la luce ordinaria e i raggi Röntgen; e che quest'ultimi non debbano le loro singolari proprietà che allo loro brevissima lunghezza d'onda, come suppongono i fautori della teoria ultravioletta.

Effetti dell'effluvio. — Non potremmo tacere dell'esperienze di Mareau e di Lord Blythwood, i quali con l'effluvio elettrico e con la scintilla, senza impiegare il tubo di Crookes, hanno ottenuto effetti analoghi a quelli dei raggi Röntgen.

Le ipotesi più naturali sono, che l'azione fotografica sia dovuta alla luce di qualche scintilla secondaria, o che il sale d'argento venga decomposto non da vere radiazioni ma da correnti elettriche traversanti la gelatina. Tuttavia, Lord Blythwood ha potuto avere impressioni sopra una lastra contenuta in una scatola metallica assolutamente chiusa, con una piccola finestra di alluminio sottile. Con questo, si dovrebbero escludere le due ipotesi indicate sopra; e bisognerebbe ammettere che la scintilla, anche alla pressione ordinaria, comunica all'aria una fluorescenza invisibile analoga a quella che produce i raggi X.

I raggi Le Bon. — M. Le Bon rinchiude dentro uno *châssis* metallico una negativa e una carta sensibile ed espone il tutto alla luce di una sorgente qualunque.

Digitized by Google

Dopo parecchie ore di posa si ottiene sulla carta una positiva. Tale azione sarebbe dovuta ad un nuovo agente. « *la luce nera.* »

Alcuni sperimentatori han ripetuto con buon successo le esperienze di Le Bon; altri non vi son riusciti e han creduto che lo scopritore sia stato ingannato da qualche errore e che per una fessura dello *châssis* sia penetrata la luce esterna. Comunque sia, è certo che questa esperienza non è ancora ben chiara; e di fronte a queste contradizioni mi conviene esser ancor più circospetto.

I raggi Le Bon, se esistono, non debbono considerarsi come elementi della luce bianca, che si propaghino con essa per traversare poi le placche metalliche : è più probabile che essi siano eccitati dalla luce stessa nella sostanza del metallo per una specie di fluorescenza. M. d'Arsonval spiega in tal modo le contraddizioni dei vari sperimentatori, e si comprenderebbe, infatti, che una placca metallica esposta al sole possa conservare per qualche tempo la proprietà di emettere luce nera. Ma si può parlare di veri raggi di luce nera ? Secondo certe esperienze di Le Bon, ancora incomplete, questa radiazione non sarebbe trattenuta dagli ostacoli, non li traverserebbe ma li circonderebbe. Il suo cammino non sarebbe insomma rettilineo, e volendola paragonare con delle onde, non sarebbe possibile se non con onde di grandissima lunghezza ; ma veramente essa si comporterebbe piuttosto come una corrente elettrica nell'interno di un conduttore.

Dobbiamo dunque riavvicinare questo effetto a quelli dell'effluvio elettrico di cui già abbiamo parlato, ovvero all'azione dei vapori metallici sulle lastre fotografiche, osservati già da Pellet e Colson ? finchè è contestata la realtà di questo fenomeno, è oziosa la discussione ; ma sembra che la luce nera traversi i metalli meglio dei raggi Röntgen ma che invece sia trattenuta dalla carta nera.

Per terminare, debbo ricordare certe radiazioni invisibili emesse da alcune sostanze organiche, specialmente da quelle che emettono luce visibile per fosforescenza.

Riassunto. — Finora il capitolo della fluorescenza e fosforescenza rimaneva isolato e come relegato in un angolo nei trattati di fisica : sembrava che la via per la quale si era messo

Digitized by Google

Recquerel dovesse terminare in un « cul-de-sac ». Oggi invece è lecito credere che essa sia per aprirci l'adito ad un mondo tutto nuovo del quale non si sospettava l'esistenza.

Accanto alla fluorescenza visibile noi abbiamo ora quella invisibile. I corpi che emettono raggi Becquerel, eccitati dalla luce emettono altri raggi luminosi. I raggi catodici suscitano i raggi Röntgen, ed anche producono la fluorescenza luminosa I raggi Röntgen alla loro volta producono la fluorescenza visibile e probabilmente anche altre radiazioni invisibili.

Tutti questi fatti senza dubbio saranno un giorno spiegati e collegati ad una unica causa ; altri ancora verranno ad agrupparsi intorno ad essi e a completare il quadro del quale noi cominciamo a intravedere le linee di abbozzo.

APPENDICE

Così scrivevo nel settembre 1896. Dopo quel tempo son venuti alla luce lavori importanti, i quali non hanno modificato gran fatto le nozioni che si avevano di questi fonomeni, ma che non si debbono passare sotto silenzio.

Rifrazione. — Gouy aveva ottenuto resultati negativi ; Perrin invece aveva creduto di osservare una leggera rifrazione La causa dell'errore di Perrin è ora scoperta, e si può affermare che i ***raggi X non si rifrangono.***

Diffrazione. — A proposito delle esperienze di Kümmel e Calmette, ho detto che occorreva dare una nuova spiegazione dei loro resultati. Tale spiegazione par che Sagnac l'abbia trovata ; e si può concludere con sicurezza maggiore di qualche mese fa, che i ***raggi X non presentano né rifrazione né diffrazione.***

Eterogeneità dei raggi X. — Questo problema è stato oggetto di numerose e sistematiche ricerche, specialmente in Italia. L'eterogeneità dei raggi X è ora fuori di quistione, e senza dubbio sarà l'origine di varie applicazioni.

Criptoscopio. — La visione diretta dei raggi X per mezzo di uno schermo fluorescente ha recentemente fatto dei notevoli progressi. In grazia delle cure con le quali si fanno oggi questi schermi, si può distinguere lo scheletro di una mano

Digitized by Google

posta fra lo schermo e il tubo. La posa fotografica non è più necessaria e il medico può vedere le ossa muoversi sotto i suoi occhi. I raggi X possono traversare anche il torace; e si vede sullo schermo l'ombra delle ossa del tronco e l'ombra più chiara delle masse muscolari; si può fino veder battere il cuore.

Raggi Lenard. — Perrin ha dimostrato che le cariche elettriche, che i raggi catodici trasportano con se, traversano insieme con essi la finestra d'alluminio nell'uscire dal tubo come nell'esperienza di Lenard. I raggi Lenard si distinguono dunque molto bene dai raggi Röntgen, coi quali spesso si potrebbero confondere.

Raggi Becquerel. — Una nuova analogia dei raggi Becquerel coi raggi X è stata da poco messa in chiaro. L'aria traversata dai raggi Becquerel come quella traversata dai raggi X *conserva per qualche tempo* la proprietà di scaricare i corpi elettrizzati.

Parigi, 30 gennaio 1897.

H. Poincarè.

Digitized by Google

Digitized by Google